Ueber den Gang der Schwellenempfindlichkeit

bei Dunkeladaptation

und seine Abhängigkeit von der vorausgegangenen Belichtung.

Inaugural-Dissertation

welche

zur Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin und Chirurgie

mit Zustimmung

der medizinischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

am 10. März 1908

nebst den beigefügten Thesen

öffentlich verteidigen wird

die Verfasserin

Sophie Sossia Rabinowitsch

aus Moskau (Russland).

ACAD. MED. BAT. BIBL.

Opponenten:

Frl. stud. med. Wera Bosse.
Frau stud. phil. Paulina Margoliss.
„ cand. med. Regina Schur.

Berlin 1908.

VERLAG VON S. KARGER

KARLSTRASSE 15.

124

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Berlin.

Referent: Prof. Dr. *Engelmann.*

Sonder-Abdruck aus der
Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. XIX.

Bedeutung des Begriffes Adaptation und Fragestellung.

Aubert (65)[1]) hat im ersten Kapitel seiner Physiologie der Netzhaut das Wort „*Adaptation*" dahin definiert, dass er darunter „*die Einrichtung des Auges für verschiedene Helligkeiten*" verstanden wissen will. Diese Definition ist de verbo immer beibehalten worden; um aber einen numerischen Ausdruck für diese „Einrichtung" zu bekommen, hat man dieselbe gleichgesetzt der Schwellenempfindlichkeit des Auges, derartige Schwellenempfindlichkeitskurven als Adaptationskuvren bezeichnet und damit den Begriff wesentlich eingeengt. Andererseits versteht man heute häufig genug unter Adaptation auch noch die Anpassung an verschiedene farbige Lichter, dadurch ist der Begriff also wesentlich erweitert gegenüber der *Aubert*schen Definition. Die Anpassung an Farben und Helligkeiten kann man kaum voneinander trennen, vor allem, weil besonders auch *Nagel* darauf hingewiesen hat, dass bei der Adaptation regelmässig eine chromatische Umstimmung des Auges (zum mindesten ein objektiv anderes Farbensehen) auftritt. So hat man daher dem heutigen Sprachgebrauche gemäss unter Adaptation die Tatsache zu verstehen, *dass unser Sehapparat, auch abgesehen von dem dioptrischen Apparat, aber inklusive des Gehirnes, je nach den verschiedenen Bedingungen, denen er unterworfen ist, ein anderer ist.* Zu diesen verschiedenen Bedingungen gehört vor allem die jeweilige Beleuchtung. Auf diesen Gesichtspunkt hat vor allem *Hering* in mehrfachen Publikationen aufmerksam gemacht und gezeigt, dass die Adaptation nicht etwa nur als Ermüdungszustand aufgefasst werden darf. Den Ausdruck Adaptation — Anpassung — gebrauchen wir deshalb, weil dieser Vorgang immer dahin zu tendieren scheint, den Sehapparat in der Weise an den augenblicklichen Umgebungszustand anzupassen, dass wir bei der betreffenden Be-

[1]) Die benutzte Literatur ist am Schlusse zusammengestellt.

leuchtung möglichst gut zu sehen imstande sind. Es ist richtiger, hierbei von der *Adaptation des Sehapparates* und nicht von der Adaptation des Auges zu sprechen, weil wir vorläufig noch nicht imstande sind, zu trennen, was dabei auf einer Veränderung des Auges selbst und was auf einer eventuellen Aenderung zentraler Teile beruht.

Der Zustand des Sehapparates kann durch sehr verschiedenartige Momente beschrieben werden. Es handelt sich dabei um die Sehschärfe, um die Unterschiedsschwelle für Helligkeiten, um die absolute Schwelle, um die Farbenempfindlichkeit, um die Schnelligkeit, mit der wir Lichteindrücke perzipieren, um die Genauigkeit der Lokalisation, um die Genauigkeit der Entfernungsschätzung, der Grössenschätzung und um anderes mehr. Alles Umstände, die sicherlich in mehr oder weniger hohem Grade von dem Adaptationszustand abhängig sind.

Dass übrigens *Aubert* mit seiner Definition nicht etwa alle diese anderen Veränderungen als nicht zur Adaptation gehörig bezeichnen wollte, geht daraus hervor, dass er selbst(Physiol. Optik 1876) in Gräfe-Sämisch Handbuch die Arbeit von *Landolt* erwähnt, welcher die Aenderung unserer Farbenempfindung bei zunehmender Adaptation untersucht hat.

Aehnliche Untersuchungen in Bezug auf die Adaptation unseres Farbenwahrnehmungsvermögens sind dann von *Peschel* (1880) und neuerdings von vielen anderen angestellt worden.

Trotzdem hat man sich — und zwar nach dem Vorgange *Auberts* selbst — durchaus daran gewöhnt, *den Zustand der Adaptation nur nach der absoluten Schwellenbestimmung für Helligkeiten zu beurteilen.* Dies wäre nur dann eine *hinreichende* Beschreibung, wenn alle diese Vorgänge einander *proportional* wären, (was jedoch in keinem Falle auch nur annähernd der Fall ist) oder wenn alle diese Vorgänge in einem *bekannten* funktionellen Verhältnisse zu einander ständen. Dass dies überhaupt der Fall ist, scheint von vornherein wenig wahrscheinlich, wenn man die mannigfaltigen Bedingungen überblickt, welche eine Beeinflussung des Sehapparates zur Folge haben. Sicherlich werden gewisse Einflüsse auf bestimmte Funktionen des Sehapparates stärker einwirken als auf andere Funktionen. Aber selbst wenn eine funktionelle Abhängigkeit bestände, so ist sie uns doch bis heute völlig *unbekannt.*

Zwar liegen hierüber nur sehr wenige exakte Untersuchungen vor. Nur bei *Treitel* (89, p. 61 und 64) finden sich Angaben, aus dessen hervorzugehen scheint, dass die Unterschiedsempfindlichkeit von der Adaptation in anderer Weise beeinflusst wird als die Schwellenempfindlichkeit, weiter konnten *Feilchenfeld* und *Nicolai* (Vortrag von *Nicolai* in der ophthalmologischen Gesellschaft Berlin 1908) zeigen, dass die Tatsache der Blendung, die doch im praktischen Leben für die Beurteilung des Adaptationszustandes zum mindesten ebenso wichtig ist als die Schwellen-

bestimmung, in keiner Weise der Schwellenempfindlichkeit auch nur annähernd parallel läuft. — Wenn das Auge durch längeren Aufenthalt im Dunkeln derartig verändert ist, dass es etwa 1000mal geringere Lichtintensitäten wahrnimmt als früher, so ist die Empfindlichkeit für Blendung nur so weit gestiegen, dass etwa 100mal geringere Lichtintensitäten als früher nötig sind, um Blendungsschmerz resp. Blendungsunlustgefühl zu erzeugen.

Diese Ueberlegungen hat man im Auge zu behalten, wenn man Schwellenbestimmungskurven — wie man es gewöhnlich tut — als Adaptationskurven bezeichnet und einen Apparat, mit dem man Schwellenbestimmungen ausführen kann, Adaptometer schlechthin nennt. Die Schwellenempfindlichkeit ist nur *eine* Erscheinung des sehr komplexen Adaptationsvorgangs. Allerdings ist hier die Bezeichnung — a parte pro toto — um so mehr berechtigt, weil man in *praktischer Beziehung* mit dem Adaptometer sehr wohl sich eine Anschauung vom Adaptationsvorgang machen kann.

In theoretischer Beziehung erscheint allerdings die Bezeichnung selbst dann nicht einwandsfrei, wenn man die einschränkende Definition von *Aubert* akzeptiert, wonach man unter Adaptation des Auges die Anpassung des Auges an den *jeweiligen Helligkeitszustand* der Umgebung versteht, denn auch dann wäre z. B. die Veränderung der Blendungsschwelle ein Vorgang, der durchaus als Anpassung des Auges an den jeweiligen Helligkeitszustand der Umgebung zu bezeichnen ist.

Hinzu kommt, dass die Definition von *Aubert* aus anderen Gründen zu Schwierigkeiten Anlass gibt. Der jeweilige Helligkeitszustand der Umgebung ist eben durchaus nicht der einzige Faktor, welcher Anlass zur Aenderung des Augenzustandes bietet. Innere somatische Ursachen kommen gleichberechtigt hinzu, und es ist nicht immer leicht, zu entscheiden, welches im Einzelfalle die wirksame Ursache ist. Dass z. B. starker Alkoholgenuss die Fähigkeit des Sehapparates, sich an das Dunkle zu adaptieren, schädigt, ist eine Tatsache, die einem aufmerksamen, nicht gerade abstinenten Röntgenuntersucher kaum entgangen sein dürfte, und lässt sich, wie mir Dr. *Nicolai* mitteilte, sehr leicht auch experimentell verificieren. Auch andere Umstände ändern das Adaptationsvermögen, schlechte Stimmung, Unaufmerksamkeit, Urindrang, Lichtnebel, absichtliche Vorstellung von Helligkeit und vieles andere.

Noch ein anderer, sehr wichtiger Umstand kommt hinzu; die *Aubert*sche Definition ist de verbo vollkommen klar; aber de facto versteht man unter *Adaptation* nicht nur den *Zustand, in dem das Auge sich befindet*, sondern auch den *Vorgang, durch den das Auge in diesen Zustand gelangt*. So spricht man von langsamer resp. schneller Adaptation, wennschon es richtiger wäre, hier von Adaptationsfähigkeit zu sprechen. Das was *Piper* und *Nagel* (siehe *Nagel* 1907) unter Adaptationsbreite verstehen, ist wieder etwas anderes, es ist das Verhältnis des An-

fangszustandes (beste Helladaptation) zum Endzustand (beste Dunkeladaptation). Fraglich bleibt es eben, ob dieser Zustand immer auf demselben Wege erreicht wird.

Es wäre nun leicht, diese Ungenauigkeit des Ausdrucks durch Definition zu beseitigen, unter Adaptation nur den jeweiligen Zustand des Auges zu verstehen und als „*Gang der Adaptation*" das Erreichen dieses Zustandes zu bezeichnen, wie dies von einzelnen Autoren auch versucht ist.

Die tatsächlichen Verhältnisse widerstehen jedoch dem Versuch, sie in eine derartige Definition hinein zu zwängen. Ein geläufiges Beispiel aus der Physik soll dies erläutern: Wenn ein Körper sich erwärmt, so vergrössert er damit zugleich sein Volum. Jedem *Temperaturzustand* entsprichtein ganz bestimmter *Volumzustand.* Sobald der Körper die betreffende Temperatur erreicht hat, hat er auch das ganz bestimmte dieser Temperatur entsprechende Volum erreicht, — wenigstens kennen wir bis heute keine Abweichung von dieser Regel. Hier ist also eine vollkommen scharfe Definition des Zustandes einerseits und der Veränderung andererseits möglich.

In der Elastizitätslehre aber liegen die Verhältnisse anders, hier entspricht durchaus nicht jeder jeweils einwirkenden Kraft eine dieser Kraft nach Grösse und Richtung entsprechende Deformation des beeinflussten Körpers. Wenn wir z. B. einen Draht durch darangehängte Gewichte dehnen, so entspricht durchaus nicht einer bestimmten Belastung nun auch eine bestimmte Länge, denn das angehängte Gewicht dehnt den Draht nicht sofort auf die Länge, welche er später annimmt. Ganz allmählich verlängert das Gewicht den Draht; diese Verlängerung dauert — je nach der Genauigkeit, mit der wir untersuchen — Stunden, Tage, ja wochenlang, und theoretisch wird bekanntlich sogar überhaupt erst nach unendlich langer Zeit der stationäre Endzustand erreicht. — Umgekehrt wird der Stab nach Wegnahme des Gewichtes nicht sofort, sondern erst allmählich in die Anfangslage zurückkehren.

Unter diesen Umständen ist nun der augenblickliche Zustand eines elastischen Körpers durch die Angabe der jeweiligen Deformation — in unserem Falle durch die jeweilige Länge des Drahtes — durchaus nicht eindeutig definiert. Kann man doch z. B. nicht daraus ersehen, ob sich der Draht in dem nächsten Zeitintervall verlängern oder verkürzen wird. Um hierzu imstande zu sein, muss man wissen, was mit dem Draht vorher geschehen ist, muss man also seine Geschichte kennen. Insonderheit muss man wissen, ob der Draht vorher gerade belastet worden ist und in welchem Stadium der Verlängerung er sich nun befindet, oder ob er kurz vorher gerade entlastet worden ist und in welchem Stadium der Rückkehr zu seinem normalen Zustand er sich befindet.

Hier gehört also in die Definition des Zustandes die Beschreibung des Geschehenen mit hinein, und eine begriffliche

Trennung in „*Verlängerung als Zustand*“ und in „*Verlängerung als Geschehen*“ wäre einer brauchbaren Beschreibung des Phänomens hinderlich und ist daher zu verwerfen.

Es ist nun ohne weiteres klar, dass die Beschreibung der Adaptationsvorgänge am Auge nur nach dem zweiten Schema möglich ist. Ist es doch ganz allgemein bekannt, dass ein Auge, das plötzlich in die Dunkelheit gebracht wird, nicht etwa sofort den der Dunkelheit entsprechenden Zustand annimmt, sondern dass es den stationären Endzustand erst nach Tagen erreicht, — wie *Piper* in einwandsfreier Weise feststellen konnte.

Der Sprachgebrauch hatte also durchaus recht, wenn er, entgegen der *Aubert*schen Definition, das Wort Adaptation sowohl für einen Zustand, als auch für ein Geschehen verwendete.

Die Frage könnte allerdings aufgeworfen werden, ob nicht trotzdem in jedem Augenblick ein bestimmter Zustand gegeben sei, der durch seine Beschreibung eindeutig definiert werden könnte. Die Frage kann von vornherein sowohl verneint, als auch bejaht werden. Selbstverständlich könnte auch der elastische Zustand eines Körpers durch eine genügend ausführliche Schilderung der momentanen Konfiguration eindeutig bestimmt werden. Denn daran ist nicht zu zweifeln, dass die jeweilige Konfiguration eines Systems auch seine Zukunftsgeschichte eindeutig bestimmt (allerdings unter der selbstverständlichen Voraussetzung, dass keine neuen, ausserhalb des Systems liegenden Kräfte auf dasselbe einwirken). Nur ist eben diese Beschreibung durch die blosse Angabe seiner Länge nicht erschöpfend gegeben. Nach heute geläufigen Anschauungen würde man etwa hinzufügen, — zu einer derartig erschöpfenden Beschreibung gehörte auch die Angabe der Molekularstruktur, die aber deshalb nicht gegeben werden kann, weil sie unbekannt ist. Somit ist man in diesem Falle auf eine Darstellung des Geschehens, also auf eine historische Schilderung, angewiesen und es ist also Sache experimenteller Untersuchung, in jedem Falle, und also auch speziell im Falle der Adaptation, zuzusehen, ob wir imstande sind, durch Beschreibung des Zustandes ihn in erschöpfender Weise zu charakterisieren. Die folgenden Untersuchungen sollen zeigen, dass dies — wenigstens vorläufig — nicht möglich ist, und dass zum Mindesten soviel mit Sicherheit gesagt werden kann, dass eine derartige Charakterisierung durch alleinige Angabe der Schwellenempfindlichkeit, wie es bisher üblich war, ausgeschlossen erscheint.

Auf Grund der vorstehenden Ueberlegungen hat mich Herr Dr. *Nicolai* veranlasst, die Frage zu untersuchen, ob *die gleiche Schwellenempfindlichkeit des Auges ein Ausdruck dafür ist, dass sich das Auge* (wenigstens in bezug auf die Schwellenempfindlichkeit selbst) *auch jedesmal in wirklich identischem Zustand befindet.* Wäre dies der Fall, so müsste der Gang der Dunkeladaptation von nun ab in allen Fällen identisch sein, wenn das Auge nunmehr jedesmal unter dieselben Bedingungen gebracht wird. Als

gleiche Bedingungen wurde absolute Dunkelheit gewählt. Die Frage lautete also präzise:

„Ist der Gang der Dunkeladaptation derselbe, auf welche Weise vorher die Helladaptation hergestellt ist oder nicht?

Diese Frage hat sich, wie aus der am Schluss folgenden kurzen Uebersicht der Literatur hervorgeht, in präziser Form bisher nur *Piper* gestellt, der sie jedoch, da sie seiner eigentlichen Arbeit fremd war, nur sehr nebensächlich behandelt und sie auf Grund seines in dieser Beziehung weniger reichhaltigen Materials nicht erschöpfend beantwortet hat. Die folgenden Untersuchungen fussten auf den Befunden *Pipers*. Er hat den Gang der Dunkeladaptation mit sehr guten Methoden (mit dem in seiner Arbeit genauer beschriebenen Adaptometer) untersucht und vor allem hat er — und das ist das Wichtigste — dadurch, dass er immer maximal hell adaptierte, einen immer gleichen Ausgangspunkt genommen, was keiner seiner Vorgänger jemals in gleicher Weise auch nur erstrebt hat. Infolgedessen sind seine Kurven untereinander sehr gut vergleichbar, und zwar konnte er feststellen, dass die Empfindlichkeit der Retina eines Menschen, der, aus dem mehr oder weniger hellen Tageslicht kommend, ein dunkles Zimmer betritt, während der ersten *zehn bis zwölf Minuten langsam*, dann aber, während der nächsten *halben bis dreiviertel Stunde schnell zunimmt*, und sich dann wieder langsam asymptotisch einer maximalen Empfindlichkeit nähert, die erst nach sehr langer Zeit, vielleicht erst nach Tagen, erreicht wird. Dieser im ganzen *S*-förmige Verlauf, der in Fig. 1 schematisch in falschen Grössenverhältnissen

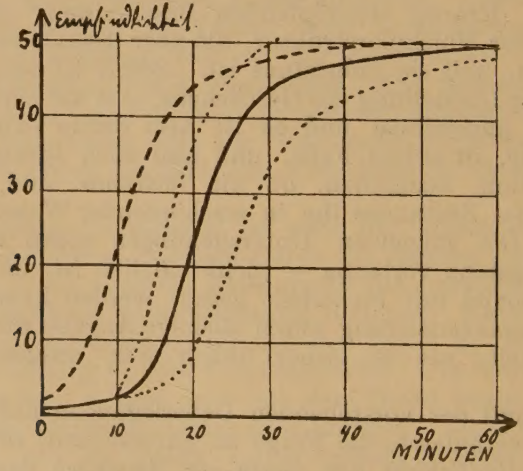

Fig. 1.

für die erste Stunde dargestellt ist, ist im allgemeinen als absolut sicher anzusehen. Der weitere Verlauf der Kurve beweist gleichzeitig, dass der jeweilige Zustand eines menschlichen Sehapparates, der sich nicht mindestens 24 Stunden in absoluter

Dunkelheit befand, kein stationärer ist, sondern immer noch gegen eine höhere Empfindlichkeit hintendiert.

Eine derartige Schwellenempfindlichkeitskurve, beginnend mit dem Zustande einer möglichst maximalen Helladaptation, und endigend mit dem Zustande mässiger Dunkeladaptation soll in einem gegebenen Fall so verlaufen, wie es die ausgezogene Linie in Figur 1 zeigt — d. h. beim Eintritt ins Dunkelzimmer sei eine Empfindlichkeit 1 vorhanden, nach 8 Minuten die Empfindlichkeit 2, nach 10 Minuten die Empfindlichkeit 3 und nach einer Stunde die Empfindlichkeit 50. (In Wirklichkeit sind die Unterschiede sehr viel bedeutender.) Wenn man nun von einer geringeren Helladaptation, die man ebenfalls durch längeren Aufenthalt an einem weniger hellen Tage sich erworben hat, ausgeht, also z. B. von einer doppelt so grossen Empfindlickeit (- 2), so fragt es sich, verläuft diese Kurve ebenso, als wäre diese Empfindlichkeit 2 nicht während des Aufenthaltes in mässiger Helligkeit, sondern wie bei der vorigen Kurve bereits während der Dunkelheit erreicht. Mit anderen Worten: es ist fraglich, ob der Umstand, auf welchem Wege die Empfindlichkeit 2 erreicht ist, einen Einfluss auf den späteren Verlauf der Kurve hat, die also unter diesem Umstande beispielsweise auf dem Wege der gestrichelten oder der punktierten Kurve oder irgendwie anders weiter verlaufen würde. — Eine weitere Frage ist die: *wie verläuft die Kurve der Schwellenempfindlichkeit, wenn wir die verschiedenen Grade der Helladaptation nicht durch langen Aufenthalt in verschieden heller Umgebung, sondern durch verschieden lange, aber immer verhältnismässig kurze, intensive Belichtung herstellen.* Diese letztere Frage versucht die folgende Arbeit zu beantworten.

Methodik.

Die Versuche wurden folgendermassen angestellt: Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass der Sehapparat jedesmal beim Beginn des Versuchs sich möglichst in dem gleichen Adaptationszustande befand. Ein solcher gleichartiger Zustand ist nun, wie schon *Nagel* früher hervorgehoben hat, im Grunde nur der einer vollständigen Dunkeladaptation, da es bei der wechselnden Helligkeit des Tages niemals möglich ist, irgend einen anderen Netzhautzustand auch nur annähernd identisch wieder herzustellen. Wenn nun auch die *Nagel*schen Angabe, dass $^1/_2$—1 Stunde völliger Dunkeladaptation für die meisten Zwecke praktisch genügt, im allgemeinen wohl richtig sein dürfte, so schien es doch wünschenswert, eine noch grössere Konstanz durch längere Dunkeladaptation zu erreichen. Besonders bei Versuchen über den Einfluss momentaner Reize, die noch nicht abgeschlossen sind, hat sich dies in der Tat als notwendig erwiesen. Bei den etwa 50 Versuchsreihen, in denen Dr. N. als Versuchsperson fungierte, war eine längere, sehr gute Dunkeladaptation dadurch in einfachster Weise ermöglicht, dass Dr. N. im Institut

wohnte. Er konnte also in einem *absolut* dunklen Zimmer schlafen und sich dann sofort beim Erwachen ein schwarzes Tuch in geeigneter Weise um den Kopf binden, ohne dabei die Augen in irgend einer Weise zu drücken und dadurch etwaige Phosphene hervorrufen, in ähnlicher Weise, wie dies *Tschermak* bei einem Adaptationsversuch getan hat. So betrat er dann das Versuchszimmer und war mithin 6—8 Stunden in vollkommener Dunkelheit gewesen. Frl. R. R., die als Versuchsperson bei der zweiten Versuchsreihe fungierte, hat jedesmal vor dem Versuche eine Stunde in völliger Dunkelheit zugebracht. Für die hier mitzuteilenden Versuche war dies zweifellos genügend lange. Das Versuchszimmer war selbstverständlich vollständig lichtdicht abgeschlossen. Die Schwellenbestimmungen wurden mit dem *Nagel*schen Adaptometer angestellt, dessen genaue Beschreibung sich bei *Lohmann* und dann bei *Nagel* findet. Der von *Nagel* immer benutzte rote Fixierpunkt wurde immer verdunkelt, da Vorversuche zeigten, dass das Licht dieses Punktes zweiffellos störend wirkte. Vor allem schien, entgegengesetzt den Angaben von *Nagel*, die vollkommenste Dunkeladaptation bereits durch das rote Lichtpünktchen zerstört zu werden, wie denn das erstmalige Ebenmerklichwerden der Scheibe des Adaptometers, den höchsten Grad der Dunkeladaptation, wie es nur durch viele Stunden langen Dunkelaufenthalt erreicht wird, mit Sicherheit zerstört. Der erste abgelesene Wert war daher immer, wie auch aus dem Protokoll auf Seite 13 hervorgeht, höher als die späteren Werte. — Allerdings war manchmal bei der zweiten Ablesung die Empfindlichkeit noch höher. es ist dies ein Faktum, auf das bereits *Charpentier* (1879, 84 u. 86) aufmerksam gemacht hat und das später von *Schulz* bestätigt worden ist. Dann aber sank die Empfindlichkeit immer sehr stark, doch müssen wir eine Besprechung dieser Befunde verschieben, bis die diesbezüglichen Versuche abgeschlossen sind. Das Ablesen der Adaptometerskala und der Uhr wurde immer von mir vorgenommen. Die dazu notwendige Beleuchtung wurde von einer kleinen roten Lampe geliefert, denn rotes Licht soll ja nur in geringem Masse die Adaptation ändern. Ausserdem wurde die Dauer der Belichtung möglichst kurz gemacht, und die Versuchsperson deckte ausserdem während dieser Zeit ihren Kopf und ihre Augen mit einem schwarzen Tuche zu, damit kein Licht in die Augen hineindringe. Wenn dies trotz aller Vorsichtsmassregeln dennoch einmal ausnahmsweise der Fall war, so wurde der nächstfolgende Wert zwar notiert, weil er zur Eruierung des Einflusses ganz schwacher Lichter auf die Schwellenempfindlichkeit dienen sollte, doch wurde er zur Berechnung der endgültigen Kurven nicht mitverwertet. Doch war dies eine fast überflüssige Vorsicht, denn die evtl. doch noch ins Auge dringenden Lichtmengen waren so minimal, dass sie kaum grösser waren, als die beim Einstellen der Empfindlichkeitsschwelle verwendeten Lichter. Derartig minimale Lichtreize zerstören zwar, wie schon

erwähnt, die hochgradigste Dunkeladaptation, sonst aber sind sie fast wirkungslos, jedenfalls ist ihr Einfluss ein so schnell vorübergehender, dass dadurch kein irgendwie merklicher Fehler bedingt sein kann.

Die Einstellung wurde entweder von mir oder (meistens) von der Versuchsperson vorgenommen. Sie war jedoch in allen Fällen eine absolut unwissentliche. Jedesmal, wenn ein Schwellenwert abgelesen war, wurde der Handgriff der Einstellvorrichtung des Adaptometers mehrmals herumgedreht und dadurch völlige Dunkelheit hergestellt. Derjenige, welcher einstellte, wusste nun im einzelnen niemals, wievielmal der Hebel wieder herumzudrehen war, ehe der alte Stand erreicht war. Bei dieser Versuchstechnik haben wir zwar häufigere und grössere Schwankungen der Kurven erhalten als *Piper*, *Nagel* und andere, die am Adaptometer gearbeitet hatten, weil die Abweichungen einer Einzel-Beobachtung naturgemäss sehr viel grösser sind, wenn man durchaus unorientiert ist, als wenn man wenigstens ungefähr weiss, in welcher Gegend man sich befindet und nach welcher Richtung man zu drehen hat. Es kann fraglich erscheinen, ob diese Vorsicht notwendig ist, aber wir glaubten, auf die Gleichmässigkeit der Einzelkurven um so eher verzichten zu können, weil es ja auf alle Fälle möglich war, die Gleichmässigkeit durch Häufung der einzelnen Versuchsreihen herzustellen, und wie die Durchschnittskurven auf Figur 3 und 4 zeigen, ist dies auch gelungen.

Dass die grösseren Unregelmässigkeiten nicht etwa auf einer mangelhaften Beobachtungsfähigkeit der verwendeten Versuchspersonen beruhen, zeigen die Kurven, welche Herr *Langfeld* mit Dr. *N.* als Versuchsperson nach dem *Verfahren* aufgenommen hat: Hierbei sind die Kurven mindestens ebenso glatt und einwandfrei wie die der genannten Autoren.

Um Kontrollkurven zu erhalten, welche unter den Bedingungen, wie sie *Piper* gewählt hat, aufgenommen wären, wurde die Helladaptation durch Aufenthalt im Freien hergestellt. Hierbei ergaben sich naturgemäss Kurven, die den *Piper*schen durchaus analog sind. Zu allen messenden Versuchen diente aber eine immer gleichmässig von 4, 8 oder 12 verdeckten Glühlampen beleuchtete weisse Wand, deren Helligkeit und Ausdehnung so gewählt war, dass man selbst nach minutenlangem Anschauen keinen oder doch keine länger als wenige Sekunden andauernde Nachbilder erhielt. Die einzelnen Versuchsreihen wurden nun in folgender Weise ausgeführt. Die immer gleichmässig dunkel adaptierte Versuchsperson nahm im verdunkelten Zimmer vor dem Adaptometer Platz, und es wurden zuerst einige Schwellenbestimmungen gemacht, um den Grad der vorhandenen Adaptation festzustellen. Selbst in den Versuchen des Dr. *N.* nach 6—8 stündiger Dunkeladaptation war die Schwelle nicht konstant, sondern variierte um etwa 20 pCt. Eine Abhängigkeit von der Länge der vorausgegangenen Dunkeladaptationszeit liess sich nicht nachweisen,

auch zeigte sich diese Variation ohne jeden Einfluss auf den Gang der später erhaltenen Resultate.

Darauf richtete die Versuchsperson ihre Augen in die Richtung nach der weissen Wand; nun wurden die Glühlampen eingeschaltet und nachdem die Versuchsperson $^1/_4$, $^1/_2$, 2 oder 5 Minuten auf die beleuchtete Fläche geblickt hatte, wieder ausgeschaltet. Durch das verschieden lange Anblicken der weissen Fläche war eine gewisse mässige Helladaptation hergestellt. Nun wurde der Gang der darauf folgenden Dunkeladaptation, oder besser gesagt, das *Wiederanwachsen der Schwellenempfindlichkeit* beobachtet, indem während der folgenden 10—12 Minuten fortlaufende Schwellenbestimmungen gemacht wurden, im Anfang in kleinen Intervallen ($^1/_2$ Minute), später in grösseren (3 Minuten). Um die erste Bestimmung möglichst schnell machen zu können, wurde am Adaptometer jedesmal auf einen Empfindlichkeits-Wert eingestellt, der um ein Geringeres tiefer war, als der in vorausgegangenen Versuchen annähernd festgestellte. Die Versuchsperson konnte dann sofort beim ersten Hinblicken auf das Adaptometer angeben, ob sie das Licht sah oder nicht. Hierbei wurde also das unwissentliche Verfahren ausser Acht gelassen, doch erwies sich kein anderes Verfahren als praktisch, um die sehr wichtigen ersten Bestimmungen mit der genügenden Schnelligkeit vornehmen zu können.

An einem jeden Versuchstage wurde das Auge einige Male (meistens 3 mal) der Belichtung ausgesetzt, dabei war die Dauer der Belichtung und der Beobachtung an demselben immer die gleiche. Dies sollte den Zweck haben, den eventuellen Einfluss mehrfacher Belichtung auf den Gang der Schwellenempfindlichkeit zu eruieren. In der Tat hat sich ein solcher Einfluss nachweisen lassen. Unter sich verglichen wurden immer nur die ersten, die zweiten resp. die dritten Versuche der verschiedenen Tage. Beobachtet wurde bei allen diesen Versuchen binokular.

Versuche.

Im Folgenden gebe ich das genaue Protokoll eines derartigen Versuches an.

Im ersten Stabe der Tabelle ist die Zeit angegeben, während derer im Laufe der Versuchsreihe die Schwellenwerte festgestellt wurden, im zweiten Stabe sind die abgelesenen Blendendurchmesser eingetragen. Die kleinen römischen Zahlen, die hinter diesen Werten stehen, markieren die Zahl der herausgezogenen Verdunkelungsscheiben; in den übrigen Fällen ist keine Scheibe herausgezogen, es sind also alle zwischengeschaltet. Im dritten Stabe sind die reduzierten Empfindlichkeitswerte nach *Nagel* angegeben.

Die Protokolle aller Versuche (ungefähr 50) wäre es überflüssig anzuführen, da dieselben einander gleich sind.

Protokoll.

10. V. 1907. Versuchsperson Herr N. 7½ Stunden im dunklen Zimmer geschlafen.

Bestimmung des Grades der Dunkeladaptation.

Zeit	Abgel. Zahl	Reduz. Empf. n. Nagel
7 Uhr 30 M.	500	104 000
7 „ 35 „ 20 Sek.	575	90 350
7 „ 37 „ 10 „	650	80 100
7 „ 39 „ 40 „	800	65 000
7 „ 42 „	675	77 050
7 „ 45 „	900	58 000

7 Uhr 53 Minuten bis 7 Uhr 55 Minuten erste Helladaptation mittels eines weissen Schirmes (2 Minuten).

Zeit	Abgel. Zahl	Reduz. Empf. n. Nagel
7 Uhr 55 M. 2 Sek.	500 III	13
7 „ 55 „ 30 „	200 II	650
7 „ 56 „ 40 „	1200 I	2 260
7 „ 57 „ 30 „	750 I	3 470
8 „ 1 „ 10 „	0 7125	7 285
8 „ 5 „ 10 „	3600	14 520
8 „ 8 „ 50 „	900	58 000
8 „ 12 „ 20 „	900	58 000
8 „ 14 „ 50 „	1250	43 500
8 „ 18 „	1000	52 000

8 Uhr 23 Minuten bis 8 Uhr 25 Minuten zweite Helladaptation mittels weissen Schirmes (2 Minuten).

Zeit	Abgel. Zahl	Reduz. Empf. n. Nagel
8 Uhr 25 M. 2 Sek.	1000 III	6,5
8 „ 25 „ 20 „	800 II	165
8 „ 25 „ 55 „	5500 I	475
8 „ 27 „ 30 „	675 I	3 850
8 „ 31 „ 30 „	0 8100	6 425
8 „ 33 „	3750	13 850
8 „ 36 „	1800	29 600
8 „ 38 „	2050	25 500
8 „ 40 „ 30 „	1300	41 800
8 „ 44 „ 30 „	1300	41 800

Die Versuche sind dann in Kurvenform gebracht. An den Abszissen sind die Zeiten, an den Ordinaten die reduzierten Empfindlichkeitswerte nach *Nagel* angebracht.

Fig. 2 stellt die Kurven der einzelnen Versuche dar, wo die Belichtung ½ und 5 Minuten dauerte und wo Herr N. als Versuchsperson fungierte.

Man sieht aus diesen Kurven, dass nicht nur die Mittelwerte, sondern auch die Werte der Einzelversuche je nach der verschiedenen Belichtung die Tendenz zum verschiedenartigen Verlauf deut-

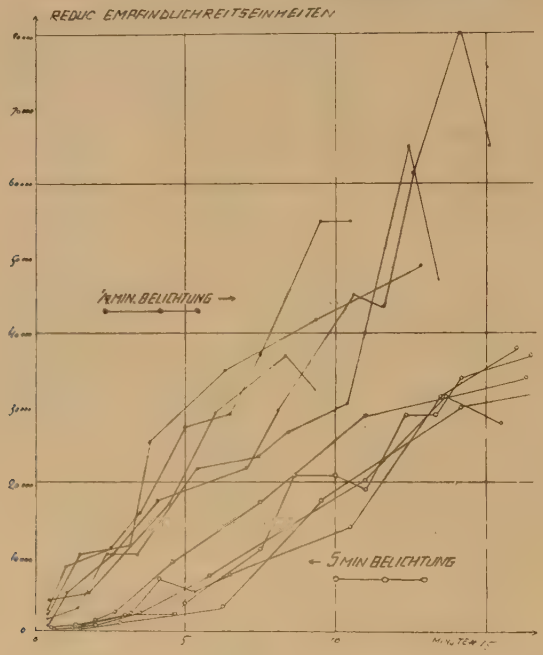

Fig. 2.

lich genug erkennen lassen, und dass mithin die Bestimmungen sicherlich genau genug sind. Die immerhin grossen Schwankungen an diesen einzelnen Kurven beruhen teils auf der mangelhaften Beobachtung, die viel Uebung erfordert, teils auf den Ermüdungserscheinungen, die von der langdauernden Beobachtung herrühren.

Besonders deutlich ist aber der charakteristische Verlauf in den Kurven, welche die Mittelwerte (Fig. 3 u. 4) darstellen, ausgesprochen. Man sieht, dass sie fast alle mit annähernd gleich tiefen Werten beginnen, im weiteren Verlauf aber auseinandergehen, je nachdem sie verschiedene Belichtungszeit darstellen. Bei Darstellung dieser Kurven wurden die Kurven der einzelnen Versuche in der Weise verwertet, dass aus den experimentell bestimmten Werten graphisch die Werte für ganze Minuten interpoliert wurden, und dann das arithmetische Mittel aus allen Versuchen derselben Belichtungszeit für jede Minute genommen wurde. Auf diese Weise erhält man die Kurvenbilder, die in den Figuren 3 und 4 dargestellt sind.

Wie oben erwähnt, wurden in jedem Versuchstage mehrere (bis 3) Bestimmungsreihen mit gleich langer Belichtung angestellt. Es zeigte sich nun, dass die Kurven der ersten Belichtung

am steilsten, die der folgenden immer weniger steil verliefen. Wenn wir die Mittelwerte aus allen Versuchen der ersten Belichtung für $^1/_2$ Min., dann aus denjenigen der zweiten Belichtung für $^1/_2$ Min. und schliesslich der dritten Belichtung für $^1/_2$ Min.

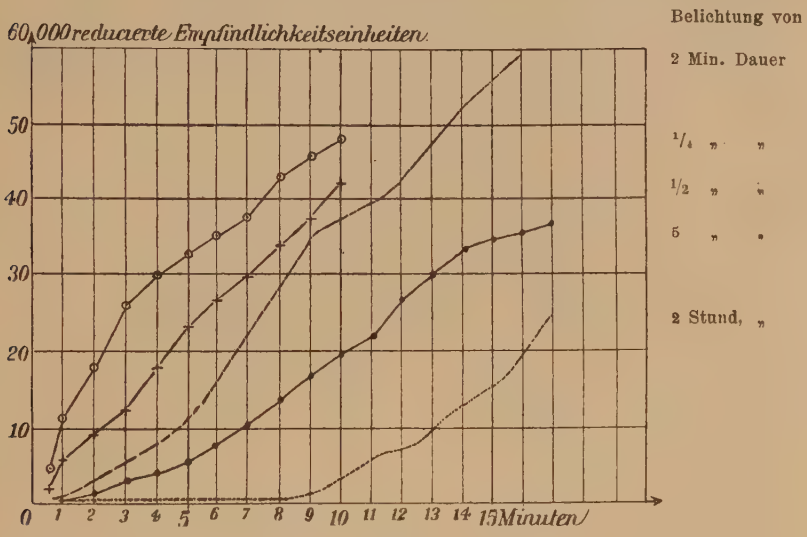

Fig. 3.

Schwellenbestimmungen von G. F. N. nach 5—8 stündiger Dunkeladaptation und dann folgender Belichtung.

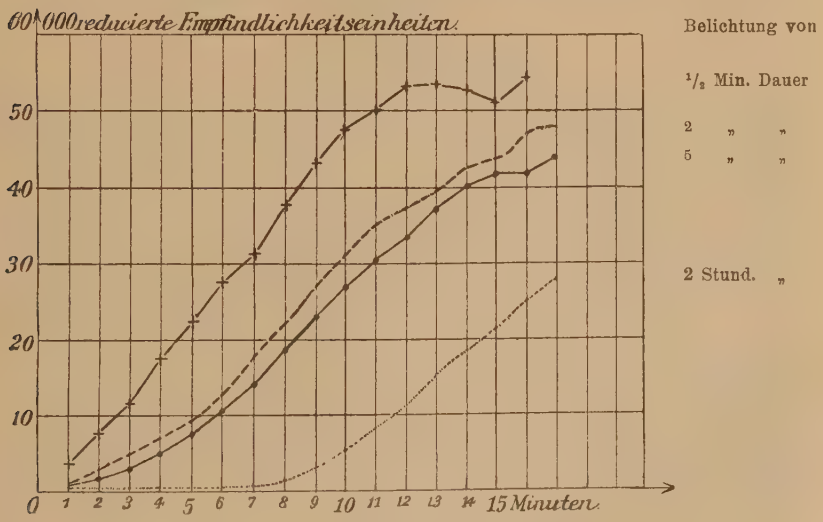

Fig. 4.

Schwellenbestimmungen von R. R. nach einstündiger Dunkeladaptation und dann folgender Belichtung.

zusammenstellen und ebenso für die Belichtungen für 5 Minuten verfahren, dann tritt das oben Gesagte sehr deutlich hervor. In

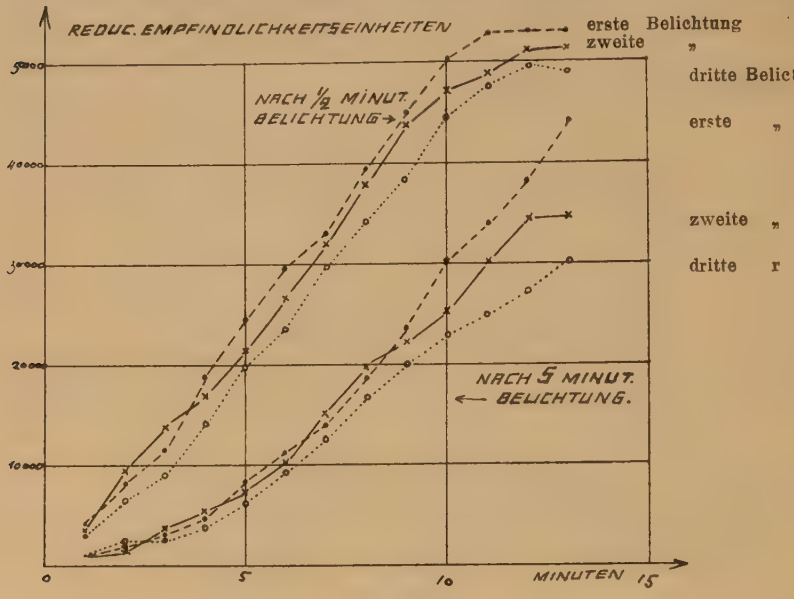

Fig. 5.

Figur 5 sind diejenigen Versuche, in denen Frl. R. R. als Versuchsperson diente, zusammengestellt.

Historischer Ueberblick.

Bis zum Jahre 1902 ist die gesamte Literatur sehr ausführlich und gründlich von *Tschermak* in den Ergebnissen der Physiologie behandelt. Seitdem ist vor allem die aus dem Berliner Physiologischen Institut hervorgegangene Arbeit von *Piper* erschienen, der den Verlauf der sogenannten „Adaptationskurve" sehr exakt mit einer einwandfreien Methode studiert hat. Er meint nun, es gäbe allerdings individuell verschiedene Typen, aber bei ein und demselben Menschen verlaufe die Adaptation immer in derselben Weise; notwendigerweise hält er daher die Angaben der früheren Autoren, insonderheit die von *Aubert* und *Charpentier*, für falsch.

Da wir jetzt aber wissen, dass die Kurven je nach den vorausgegangenen Belichtungen einen verschiedenen Verlauf nehmen, ist zu prüfen, ob nicht möglicherweise hierdurch die Veränderungen bedingt sind, und ich glaube in der Tat zeigen zu können, dass die Kurven der genannten Autoren ebenfalls *richtig und nur unter anderen Bedingungen gewonnen sind.*

Wir begnügen uns daher damit, in Bezug auf die Literatur auf

Tschermak zu verweisen, und erörtern nur diesen einen Punkt etwas genauer.

Aubert war der erste, der mit dem Namen Adaptation ausschliesslich die Anpassung des Auges für verschiedene Helligkeiten bezeichnete, während bis dahin die Ausdrücke „Adaptation" und „Accommodation" identisch gebraucht worden waren. Er studierte in systematischer Weise den Verlauf der Dunkeladaption, der sich nach seinen Beobachtungen folgendermassen gestaltete: In den ersten Minuten nach dem Eintritt ins Finstere geht die Adaptation sehr schnell vor sich, später viel langsamer, und ungefähr nach zwei Stunden erreicht die Adaptation annährend ihr Maximum, wobei er es dahingestellt sein lässt, ob die Kurve schliesslich der Abszisse parallel verläuft, oder ob sie sich einer derartigen Linie nur assymptotisch nähert und ob dieser Zustand eventl. mit oder ohne vorausgegangene Oszillationen erreicht wird.

Diese Angaben von *Aubert* werden von *Piper* (03 p. 165) kritisiert, der auf ihren eventl. sachlichen Inhalt gar nicht eingeht, weil er die Methode für durchaus fehlerhaft zu halten scheint, denn er schreibt, dass es im höchsten Grade unwahrscheinlich sei, dass wie *Aubert* annimmt, *einer sukzessiven Verlängerung des glühenden Drahtes um gleiche Beträge eine Abnahme der emittierten Lichtitensität in arithmetischer Reihe entsprechen soll.*

Demgegenüber ist darauf hinzuweisen, dass, selbst wenn man die photometrischen Bestimmungen, auf denen die *Aubert*sche Angabe beruht, nicht anerkennt, also seine Methodik als falsch hinstellt, man damit noch nicht berechtigt ist, auch seine Ergebnisse ihrem Gesamtinhalt nach zu verwerfen. Es wäre erst noch zu untersuchen, inwiefern ein solcher Fehler in den Beleuchtungsintensitäten den Gang der Adaptationskurven beeinflussen würde.

Weiter schreibt *Piper* (03. S. 165), „dass ein sehr wichtiger Einwand gegen die Brauchbarkeit der *Aubert*schen Zahlen in der Tatsache gegeben ist, dass ein leuchtendes Objekt von geringer Winkelgrösse (2—3 cm langer Draht, 20 cm Abstand) mit der Fovea centralis und mit parazentralen Netzhautpartien beobachtet wurde. Wir wissen jetzt, dass diese Netzhautzone wenn überhaupt, so doch sicher in weit geringerem Masse als die weiter peripheren Teile der Retina bei Dunkelaufenthalt an Empfindlichkeit gewinnt."

Dieser Einwand wäre sicher berechtigt, wenn *Aubert* etwa versucht hätte, streng zu fixieren; dies aber ist nicht angegeben, und ist offenbar auch nicht geschehen. *Aubert* hat eben zu sehen versucht, so gut er konnte; er hat also sicherlich in der Dunkelheit mit extrazentralem Fixationspunkt beobachtet, also wahrscheinlich unbewusst dasselbe getan, was *Piper* mit bewusster Absicht ausgeführt hat. Dass *Piper* durch Anbringung eines Fixationspunktes seine Resultate genauer machte, ist unzweifelhaft, nur scheint dieser Unterschied nicht so beträchtlich zu sein, dass man die *Aubert*schen Befunde verwerfen müsste.

Mag der Methodik nach die Richtigkeit der *Aubert*schen Angaben immerhin anzuzweifeln sein, den Ergebnissen nach ist, wie aus unserer Arbeit hervorgeht, kein Grund dazu. *Aubert* hat unter anderen Bedingungen beobachtet wie *Piper*. *Piper* war zwar mehr oder weniger aber immer sehr gut hell adaptiert durch längeren Aufenthalt im Freien, oder zum mindesten durch Anblick des Himmels. *Aubert* aber war sehr wenig helladaptiert. *Piper* meint selbst (S. 164), „dass von *Aubert* ein so geringes Mass der Empfindlichkeitszunahme gefunden wurde, weil der Beobachter möglicherweise zu Beginn seiner Messungsreihe unvollständig hell adaptiert war." Bestimmtes lässt sich darüber nicht sagen, weil *Aubert* über die Art der Herstellung des anfänglichen Adaptationszustandes nichts angibt. Dass aber *Aubert* im allgemeinen nicht maximal helladaptiert war, geht aus folgender Bemerkung deutlich hervor: (*Aubert*, Physiologie der Netzhaut S. 40.) „Einen irgend auffallenden Einfluss der Tageszeit auf den Gang der Adaptation habe ich (*Aubert*) nicht gefunden. Nur in einem Versuche, vor dessen Beginn ich absichtlich *mehrere Minuten lang auf frisch gefallenen Schnee gestarrt hatte, trat eine starke Knickung der Kurve ein.* Unmittelbar nach dem Eintritt ins Finstere bemerkte ich den Draht bei 20 mm Länge, dann stellte ich ihn auf 21 mm, und konnte ihn erst nach 5 Minuten bei dieser Länge bemerken; von 21 zu 22 mm adaptierte ich mich dann in 1 Minute, von 22 zu 23 mm in 2 Minuten, u. s. f. und war nach 73 Minuten imstande, den Draht bei 27 mm Länge zu sehen."

Hieraus geht hervor, dass er die nur *minutenlange* Helladaptation für eine besonders gute hält. Trotzdem er damit natürlich noch nicht an die *Piper*sche Helladaptation heranreicht, weist diese Kurve, die er allerdings nicht zeichnet, *eine deutliche Annäherung an die Pipersche Kurvenform auf.* (Vgl. Fig. 6 I.) Schon dieser Umstand hätte darauf hinweisen müssen, dass möglicherweise doch die vorausgegangene Belichtung von Einfluss auf den Gang der Schwellenempfindlichkeit ist. Jedenfalls stimmt die Form der *Aubert*schen Kurven (S. 30—35) mit unseren Resultaten überein. Allerdings ist damit die geringe Adaptationsbreite, welche *Aubert* gefunden hat, in keiner Weise erklärt. Gerade in dieser Beziehung bedeuten die Arbeiten von *Charpentier*, und vor allem die Arbeiten von *Piper* eine ganz unzweifelhafte Bereicherung unseres Wissens. Hier gelten wahrscheinlich mehr oder weniger all die Einwände, welche *Piper* macht, nur sind eben die diesbezüglichen Fehlerquellen nicht so gross, dass sie die ganzen Versuche als wertlos erscheinen lassen. Und wenn *Piper* sagt, (S. 183) „dass alle physikalischen und physiologischen Voraussetzungen bezüglich der Qualität und quantitativen Auswertung des Reizlichtes und der Art der Beobachtung erhebliche Irrtümer enthalten", so ist das doch wohl zu streng geurteilt: die quantitativen Bestimmungen waren ungenau, aber wenigstens *qualitativ hat Aubert richtig beobachtet, wenn er auch nur einen Typus der möglichen*

Kurven gefunden hat, während Piper den anderen Typus festgestellt hat. Erst aus der Kombination dieser beiderseitigen Resultate ergibt sich die allgemein gültige Wahrheit.

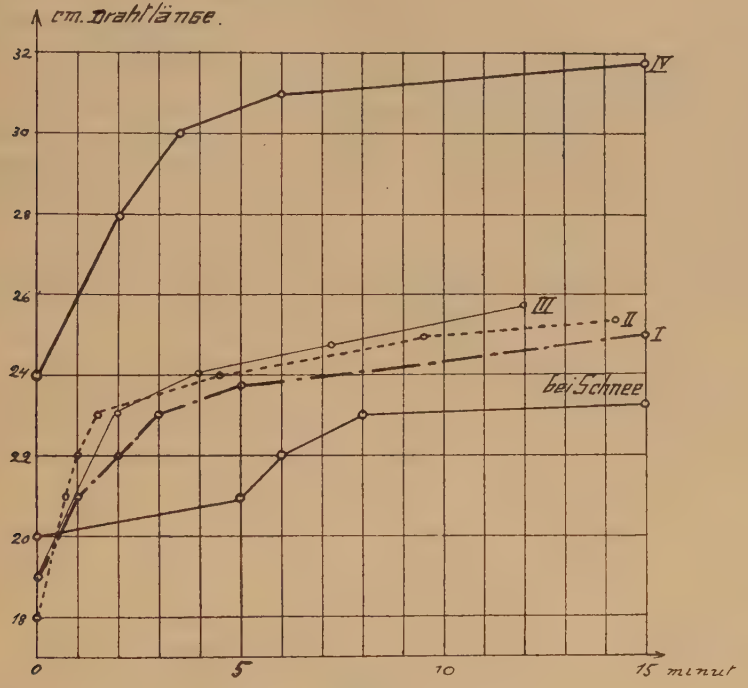

Fig. 6.
Kurven von Aubert.

Charpentier hat später mittels seines Photometers, in welchem die Lichtabstufung nach ganz ähnlichem Prinzip, wie an dem bekannten *Förster*schen Photoptometer erfolgte, Schwellenbestimmungskurven gemacht, welche ergeben, dass die Empfindlichkeit des Auges langsam, dann schneller und dann wieder langsam zunimmt.

Piper hat in diesem Falle durchaus recht, wenn er schreibt: (S. 166.) Die Folgerungen, welchen *Charpentier* von der Kurve der Schwellenwerte auf den Verlauf der Empfindlichkeitssteigerung zieht, dürfen kaum Geltung beanspruchen, da hier leicht ersichtliche rechnerische Irrtümer untergelaufen sind. Denn obwohl an anderer Stelle ganz richtig gesagt wird, die Empfindlichkeit der Netzhaut sei als reziproker Wert des Minimum perceptibile zu berechnen, so ist doch diese Rechnung nicht durchgeführt worden, und nun kommt der Autor bezüglich der Empfindlichkeitszunahme der Netzhaut zu kaum haltbaren Schlüssen. Wären die den Schwellen reziproken Empfindlichkeitswerte als Funktion der Zeit in ein System rechtwinkliger Koordinaten eingetragen worden,

so hätte sich, was ja eigentlich selbstverständlich ist, eine Kurve von gerade umgekehrtem Verlauf, nämlich von zuerst langsamer und dann sehr schneller Steigung ergeben.

Dagegen ist es nicht recht einzusehen, warum er sagt, (S. 165) „wenn man nun auch theoretisch gegen diese Messmethode kaum etwas einwenden kann, so sind doch die tatsächlichen Resultate, wie ich zeigen werde, nicht sehr befriedigend."

Die Kurven verlaufen allerdings anders wie die *Piper*schen, das rührt aber daher, dass *Charpentier*, wie er selbst sagt, *meist bei trüben Tagen* im dunklen Zimmer sich „helladaptiert" hat. So sagt er zum Beispiel in seinem Versuche vom 18. Juli 1883 (Arch. d'Ophtalmoligie 1886, 6. S. 296): „Le temps est assez sombre, il n'y a pas de soleil. Je suis adapté à l'eclairage ambiant de mon cabinet, lequel est eclairé par une fenêtre donnant au sud-est, en face de laquelle est une maison."

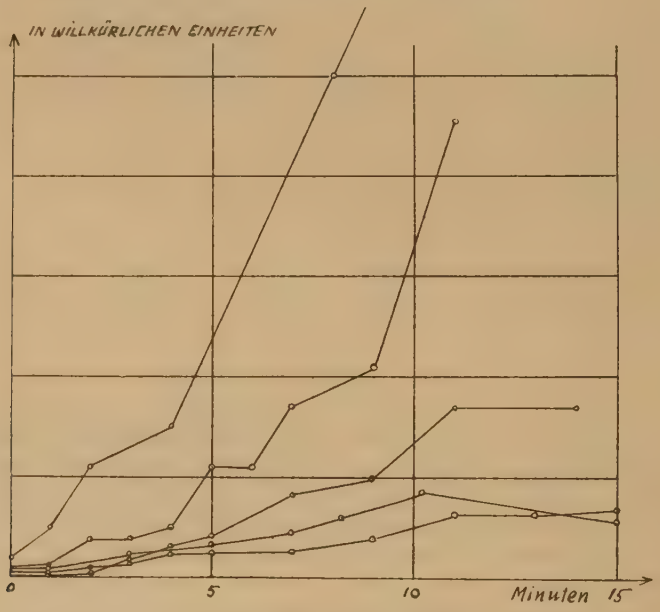

Fig. 7.
Kurven von Charpentier.

In Fig. 7 geben wir die Kurven von *Charpentier* umgerechnet auf Empfindlichkeitswerte. Wenn man annimmt, dass der Grad der Helladaptation umgekehrt proportional dem zuerst beobachteten Empfindlichkeitswerte ist, dann stimmen die Kurven mit den Resultaten dieser Arbeit. Sie stimmen auch ausser No. 5 mit den Angaben von *Charpentier* über Helligkeit des Tages, die allerdings nicht bei allen Versuchen angegeben ist.

Sind nun auch diese Beobachtungen der älteren Autoren im grossen und ganzen richtig und gerade dank unserer mitgeteilten

Versuche erklärbar, so wurde doch niemals die oben auseinandergesetzte Fragestellung scharf von anderen Fragen isoliert, so z. B. von der Frage nach der Zeit, innerhalb welcher ein bestimmter Adaptationszustand erreicht wird. Man sieht an der Hand der Fig. 1 sehr leicht, dass dies etwas ganz anderes bedeutet. Wenn z. B. die Kurve ganz unabhängig davon, wie die Empfindlichkeit 2 erreicht worden ist, weiter verläuft (dargestellt durch die Linie — — —), so wird jede Empfindlichkeit dann, wenn man mit der Empfindlichkeit 2 beginnt, 8 Minuten früher erreicht, während gerade dann, wenn die Kurve einen anderen Verlauf hat, eine bestimmte Empfindlichkeit nach derselben Zeit erreicht werden kann u. s. w.

Bei *Aubert* und *Charpentier* finden wir kaum ein Hinweis auf die von uns behandelten Fragen, eher bei *Treitel* (1887), der in seiner Arbeit „Ueber das Verhalten der normalen Adaptation" folgende Bemerkung macht: „bei gleich starker Verfinsterung des Untersuchungszimmers zeigt sich die Adaptation an hellen Tagen grösser, als an dunklen, und sie kann trotz erheblicher Verfinsterung geringer gefunden werden, wenn das Auge vor dem Eintritt in den verfinsterten Raum weniger hellem Lichte ausgesetzt wird. Die Adaptationsgrösse ist nicht ein- für allemal dieselbe, sondern gestaltet sich unter verschiedenen äusseren Umständen variabel." Es ist aber schwer, aus diesen Worten zu entnehmen, um was es sich eigentlich handelt. Es scheint nur zu bedeuten, dass völlige Dunkeladaptation von guter Helladaptation verschiedener ist als mässige Helladaptation.

Petren (Skand. Arch. 15, 1904) bemerkt in dieser Beziehung sehr richtig, dass die Begriffe „Helladaptation" und „Dunkeladaptation" nur zwei Spezialfälle der Adaptation überhaupt sind und dass man diesen Begriff viel weiter fassen muss. Er schlägt vor, mit dem Wort „Adaptation" die „Neueinrichtung der Netzhaut" nach einer Veränderung der umgebenden Helligkeit zu bezeichnen, und zwar nach jeder Veränderung der Helligkeit, selbst wenn diese noch so gering ist. Später sagt er denn auch, dass die Erregbarkeit (resp. die Empfindlichkeit) eines bestimmten Netzhautelementes in einem gegebenen Augenblicke nicht nur von dem augenblicklich einwirkenden Lichtreize abhänge, sondern auch von dem früheren Beleuchtungszustande und, wie er hinzufügt, wahrscheinlich auch von der gleichzeitigen und vorausgegangenen Beleuchtung der Gesamtretina. So richtig das Gesagte nun auch zweifellos ist, so erschöpft es den Gegenstand in keiner Weise. Mit dem, was *Petren* sagt, wird nur zum Ausdruck gebracht, dass der Retinazustand nicht unmittelbar dem jeweiligen Beleuchtungszustand folgt, dass also, wenn sich das Auge im Dunkeln befindet, nicht sofort die vollkommene Dunkeladaptation vorhanden ist. Ueber den Weg, auf dem diese Dunkeladaptation erreicht wird, scheint *Petren*, soweit ich ihn verstanden, nichts auszusagen; die Frage, ob dieser Weg in allen Fällen derselbe ist, hat er sich nicht gestellt. Dies war auch solange unmöglich, ehe

nicht der Gang der Schwellenempfindlichkeit bei Dunkeladaptation wenigstens einigermassen exakt bekannt war. Wir haben schon erwähnt, dass wir diese Kenntnis erst den genauen Untersuchungen *Pipers* verdanken, und es ist daher nicht wunderbar, dass *Piper* sich als Erster die uns interessierende Frage vorgelegt hat. Doch konnte er bei seinen Experimenten irgend eine Abhängigkeit des Ganges der Dunkeladaptation (der Schwellenempfindlichkeit) von dem Zustande vor Beginn der Dunkeladaptation nicht konstatieren. Ihm zufolge kann allerdings in dem Augenblick, wo die Verdunkelung beginnt, das Auge sich in sehr verschiedenen Zuständen befinden, je nach der Helligkeit, der es vorher ausgesetzt war; der Gang der bei Lichtabschluss eintretenden Veränderung ist aber von jedem bestimmten Adaptationsgrade ab immer der gleiche; man erhält also immer dieselben Adaptationskurven, nur je nach Umständen, unter Fortfall kleinerer oder grösserer Anfangsstücke. Dies steht auf den ersten Blick in völligem Gegensatz zu den Resultaten dieser jetzigen Arbeit. Doch ist bei Beurteilung dieser Angabe im Auge zu behalten, dass diese *Piper*schen Angaben nur nebenbei gemacht sind; im wesentlichen kam es dem Autor darauf an, den allgemeinen Gang der Schwellenempfindlichkeit festzustellen. Vor allem aber dürfte der Umstand massgebend sein, dass bei den oben beschriebenen Versuchen die Belichtung mit immer der gleichen Helligkeit während verschieden langer, aber immer kurzer Zeiten ausgeübt wurde, während bei den *Piper*schen Versuchen die Helladaptation durch das verschieden helle Licht verschiedener Tage erfolgte und immer eine langdauernde war. — Wenn man annehmen darf, dass die nicht sehr zahlreichen Kurven *Pipers* den von ihm gezogenen Schluss rechtfertigen — und einige wenige, von mir ausgeführte derartige Versuchsreihen scheinen in der Tat zu beweisen, dass unter den Variationen, unter denen *Piper* annähernd untersucht hat, die Unterschiede im Gang der Schwellenempfindlichkeit nicht sehr grosse sind, so müsste man daraus in Verbindung mit unseren Versuchen schliessen, dass während dieser langen Zeit der hellen Beleuchtung ein wirklich oder doch annähernd stationärer Zustand von mehr oder weniger ausgesprochener Helladaptation eintritt, was bei kurzen Belichtungen, wie schon oben gezeigt wurde, nicht der Fall ist.

Hier sei noch die Arbeit „Ueber Helladaptation" von *Lohmann* (1906) erwähnt. Er studierte den Gang der Adaptation, indem er das Auge Lichtreizen von verschiedener Stärke und Dauer aussetzte, immer von demselben Adaptationszustande des Auges ausgehend. Eine Reihe von Versuchen wurde mittelst einer Nernstlampe, die sich in der Spitze einer aus Pappdeckel verfertigten Pyramide befand, und einem grossen, würfelförmigen Holzkasten, der gemäss den Zwecken seiner Versuche konstruiert war, die andere Reihe mittelst Adaptometer von *Nagel* angestellt. Besonders sorgfältig verfolgte er den Anfangsteil der Kurven. Je nachdem das Auge 1, 2, 3 Minuten belichtet wurde, bekommt er verschieden verlaufende Kurven. Einige von ihnen fallen zeitweilig zusammen, aber die

spätere Gabelung erweist, dass sie ganz verschiedenartig sind und das Zusammenfallen auf dem Mangel der Versuchsanordnung beruht. Die Resultate seiner Versuche lauten dahin, dass die Veränderung, die die Empfindlichkeit des Auges schwachen Lichtreizen gegenüber während der Einwirkung von Lichtreizen erleidet, in den beiden ersten Minuten bedeutend und konstant zunehmend ist, während dies nicht in der gleichen Weise nach der zweiten Minute bei den folgenden Minuten zutrifft, Resultate, die, worauf hier nicht näher eingegangen werden soll, mit den vorstehenden Untersuchungen sehr gut übereinstimmen.

Zusammenfassung.

Fassen wir das tatsächlich Festgestellte zusammen, so ergibt sich vor allem:

1. *Die Kurven gehen annähernd immer von ähnlich tiefen Punkten aus. — Das zeigt uns, dass der Adaptationszustand — gemessen an der Schwellenempfindlichkeit — im Anfange derselbe ist.*

2. *Die Kurven steigen desto steiler, je weniger Zeit die Belichtung eingewirkt hat. Das zeigt, dass der Adaptationszuztand selbst auf Bezug auf die Schwellenempfindlichkeit doch nicht derselbe war.*

Fragen wir nach dem Grund, so ergibt sich tatsächlich, dass sich das Auge bei langer Dunkeladaptation in einem Zustand befindet, in dem es schnell wieder zurückkehrt, wenn es nur *für kurze Zeit* aus dem Dunkeladaptationszustand herausgebracht wird; dauert dagegen dieses Herausbringen aus dem Dunkeladaptationszustand *längere Zeit*, so geht das Auge in einen neuen Zustand über, aus dem es wiederum nur schwierig herauszubringen ist.

Aus dieser tatsächlichen Feststellung lassen sich nun alle die geschilderten Phänomene leicht erklären, und es wird selbstverständlich, dass *Piper*, der immer gut und lange helladaptiert war, Kurven bekam, bei denen die Adaptation langsam verlief, und dass *Charpentier*, der mit schlechter Adaptation arbeitete, Kurven bekam, die steiler verliefen; sobald er aber besser adaptierte, auch seine Kurven langsamer verliefen. Aus dieser nicht immer gleichartigen Adaptation der älteren Autoren ergeben sich die von *Piper* gerügten Ungenauigkeiten. Das ist aber nicht ein Ausdruck für falsche Beobachtung und falsche Methode.

Es erklärt sich weiter daraus das Verschiedenartige bei erster. zweiter und dritter Belichtung. Denn wenn das Auge durch die Belichtung aus seinem *langdauernden Dunkeladaptationszustand herausgebracht ist*, so ist jener Zustand verschwunden, der das Auge zwingt, schnell wieder in ihn zurückzuschnellen.

Dass die genannte Erscheinung in der Physik ihre Parallele mit Elastizitätserscheinungen habe, wurde schon in der Einleitung im Allgemeinen hervorgehoben. Hier sei noch zu erwähnen,

dass wir vermuten könnten, dass diese Erscheinung in irgend einer Beziehung steht zu der von *van Genderen Stort* und *Engelmann* gefundenen Zapfenverkürzung auf Lichteinfall, denn es ist ja unzweifelhaft, dass bei diesen Vorgängen Elastizitätskräfte frei werden müssen, und es wäre möglich, dass dieselben in dem angedeuteten Sinne wirken. Allerdings sind diese Zapfenveränderungen im menschlichen Auge ja nicht mit Gewissheit nachgewiesen worden. Doch soll dies ja auch nur ein Hinweis auf eine Parallelerscheinung, keine Erklärung sein.

Zum Schluss spreche ich Herrn Geheimrat Professor Dr. *Th. W. Engelmann* meinen ehrerbietigsten Dank aus für die Erlaubnis, im Laboratorium des Physiologischen Instituts arbeiten zu dürfen, ebenso Herrn Privatdozenten Dr. *G. F. Nicolai* für Anregung und Unterstützung.

Literaturverzeichnis.

Aubert, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.
Derselbe, Physiologische Optik (im Handbuch von Gräfe-Sämisch). 1876.
Charpentier, Marche de l'adaptation retinienne. Archives d'Ophtalmologie, 6. 1886. H. 4.
Derselbe, C. R. de l'acad. franc. Bd. 88. 27. Januar und 10. Februar 1879. S. 189.
Derselbe, Nouv. recherches analytiques sur les fonctions visuelles. Arch. d'Ophthalm. 1884. Bd. 4. S. 291.
Derselbe, La sensibilité lumineuse et l'adaptation retinienne. Archives d'Ophtalmologie. 6. 1886. H. 3.
Engelmann, Ueber Bewegungen der Zapfen und Pigmentzellen der Netzhaut unter dem Einfluss des Lichtes und des Nervensystems. Pflügers Archiv. 35. 1885.
Feilchenfeld und *Nicolai*, Vortrag in der ophthalmologischen Gesellschaft. Centralbl. f. Augenheilk. Januar 1908.
van Genderen Stort, Ueber Form und Ortsveränderungen der Netzhautelemente unter Einfluss von Licht und Dunkel. Graefes Archiv. 33. 1887.
Kries, Ueber den Einfluss der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Funktion der Stäbchen. Berichte der Naturforscher-Gesellsch. Bd. 10. H. 2. 1894.
Lohmann, Ueber Helladaptation. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. 41. H. 4. 1906.
Nagel, Ueber die Wirkung des Druckes und des galvanischen Stromes auf das dunkeladaptierte Auge. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. 34. 1904.
Derselbe, Zwei Apparate. Zeitschr. f. Augenheilkunde. Bd. 17. H. 3. 1907.
Derselbe und *Schäfer*, Ueber das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation. Jahrbuch f. Psych. u. Phys. 34. 1904.
Peschel, Experimentelle Untersuchungen über die Adaptation der Netzhaut für Farben. Pflügers Archiv. 1880. Bd. 2. S. 405.
Petren, Ueber die Beziehungen zwischen der Adaptation und der Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Intensität. Skandin. Arch. f. Phys. 15. 1904.
Derselbe und *Johansson*, Untersuchungen über das *Weber*sche Gesetz beim Lichtsinne des Netzhautzentrums. Skandin. Arch. 15. 1904.
Piper, Ueber Dunkeladaptation. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. 31. 1903.
Treitel, Ueber das Verhalten der normalen Adaptation. Graefes Archiv. 33. 1887.
Tschermak, Die Hell-Dunkeladaptation des Auges und die Funktion der Stäbchen und Zapfen. Ergebnisse der Phys. Wiesbaden 1902.

Tschermak, Ueber die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. Pflügers Archiv. Bd. 70. 1898.

Thesen.

I. Der Gang der Dunkeladaptation ist von der vorausgegangenen Belichtung abhängig.

II. Die Abhängigkeit des Ganges der Dunkeladaptation von der vorausgegangenen Belichtung steht im Zusammenhang mit der Zapfenbewegung.

III. Bei Belichtung eines Auges wird auch das andere nicht belichtete Auge beeinflusst.

Lebenslauf.

Ich, *Sophie-Sossia Rabinowitsch*, geboren am 3. Mai 1874 in *Wilno* (Russland), mosaischer Konfession, erhielt meine Schulbildung auf dem Marien-Mädchengymnasium zu *Moskau*, wo ich meine Prüfung im Jahre 1891 bestand. Das Examen im Latein im Umfange der Matura bestand ich am X. Knabengymnasium zu *Moskau* im Jahre 1902.

Mein medizinisches Studium begann ich im Herbst 1902 als Hospitantin an der Universität zu *Freiburg i. Br.*

Dort bestand ich im Jahre 1905 die ärztliche Vorprüfung. Meine Studien setzte ich in *Heidelberg* und dann wieder in *Freiburg* fort. Seit dem Herbst 1906 hörte ich als Hospitantin die Vorlesungen an der medizinischen Fakultät der Universität *Berlin*. Ich besuchte die Vorlesungen, Kurse und Kliniken folgender Herren:

In Freiburg: *Axenfeld*, *Gaupp*, *Gierke*, *Himstedt*, *Keibel*, *Killian*, *Killiani*, *Knoop*, *Kraske*, *v. Kries*, *Kroenig*, *Rickert*, *Weissmann*, *Wiedersheim*.

In Heidelberg: *Arnold*, *Erb*, *Kaposi*, *v. Rosthorn*, *Schmidt*, *Schoenhorn*.

In Berlin: *Baginsky*, *Bumm*, *Cassirer*, *De la Camp*, *Grawitz*, *Henkel*, *Heubner*, *Hildebrand*, *Kaiserling*, *Kraus*, *Lesser*, *Nicolai*, *Oppenheim*, *Rubner*, *Westenhöffer*, *Ziehen*.

Allen meinen verehrten Lehrern spreche meinen aufrichtigsten Dank aus.